



В.И. ЛЯШКОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Электронно-
Библиотечная
Система

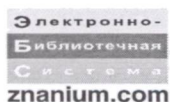
znanium.com

В.И. Ляшков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Второе издание, исправленное и дополненное



Соответствует
Федеральному государственному
образовательному стандарту
3-го поколения

**МОСКВА
КУРС
ИНФРА-М
2020**

УДК 621.1(075.8)
ББК 31.3я73
Л99

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1
----------------	--

Рецензенты:

С.П. Рудобахта – проф., д-р техн. наук, зав. кафедрой
теплотехники (Московский государственный агротехнический
университет);

В.Ф. Симонов – проф., д-р техн. наук

(Саратовский государственный технический университет)

Ляшков В.И.

Л99 Теоретические основы теплотехники: Учеб. пособие для вузов /
В.И. Ляшков, 2-е изд., испр. и доп. — М.: КУРС: ИНФРА-М, 2020.
— 328 с.: ил.

ISBN 978-5-905554-85-8 (КУРС)

ISBN 978-5-16-010639-7 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-102649-6 (ИНФРА-М, online)

В учебном пособии лаконично и последовательно изложены теоретические основы теплотехники (основы термодинамики, теории тепло- и массообмена и теории горения), составляющие необходимый и достаточный минимум для того, чтобы в дальнейшем специалист мог самостоятельно углублять знания в тех или иных областях прикладной теплотехники. Учебный материал изложен отдельными, сравнительно небольшими подразделами, структурированность и последовательность которых продиктована внутренней логикой названных наук.

Для студентов, обучающихся по специальности «Энергообеспечение предприятий», а также для студентов других специальностей при изучении ими дисциплин теплотехнического профиля.

УДК 621.1(075.8)

ББК 31.3я73

ISBN 978-5-905554-85-8 (КУРС)

ISBN 978-5-16-010639-7 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-102649-6 (ИНФРА-М, online)

© Ляшков В.И.

© КУРС, 2015

Редактор *М.А. Рожкова*
Технический редактор *Л.А. Маркова*
Корректор *Г.Н. Петрова*
Компьютерная верстка *О.М. Черновой*

Подписано в печать 28.09.2018.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,5. Уч.-изд. л. 20.
Тираж 500 экз. Заказ №
ТК 333100—496993—281114

ООО Издательство «КУРС»
127273, Москва, ул. Олонецкая, д. 17А, офис 104.
Тел.: (495) 203-57
E-mail: kursizdat@gmail.com

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	8
1.1. Общие понятия и законы термодинамики	8
1.1.1. Основные термины термодинамики	8
1.1.2. Первый закон термодинамики в общем виде	10
1.1.3. Термомеханическая система	14
1.1.4. Внутренняя энергия газа	15
1.1.5. Энтальпия, ее физический смысл	18
1.1.6. Другие характеристические функции. Эксергия	21
1.1.7. Равновесные и неравновесные процессы	24
1.1.8. Принцип возрастания энтропии. Второй закон термодинамики	27
1.1.9. Уравнение состояния. Критерий устойчивости	28
1.1.10. Графический метод в термодинамике	30
1.1.11. Теплоемкости газов	32
1.1.12. Уравнение Майера и другие свойства идеального газа	34
1.1.13. Формулы для вычисления энтропии	35
1.2. Идеальные термодинамические процессы и циклы	36
1.2.1. Политропные процессы	36
1.2.2. Анализ политропных процессов	40
1.2.3. Общие понятия о циклах	43
1.2.4. Цикл и теорема Карно	46
1.2.5. Потери работоспособности. Коэффициент качества теплоты	48
1.3. Термодинамика реальных газов	50
1.3.1. Реальные газы	50
1.3.2. Термические коэффициенты и связь между ними	53
1.3.3. Состояния и свойства воды и водяного пара	54
1.3.4. Определение параметров воды и пара	58
1.3.5. Диаграмма $h-s$ воды и пара	60
1.3.6. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса	62
1.3.7. Расчет процессов с водой и паром	63
1.4. Термодинамика газового потока	65
1.4.1. Первый закон термодинамики для потока газа	65
1.4.2. Анализ адиабатных течений	68
1.4.3. Скорость истечения и расход газа	71
1.4.4. Скорость распространения колебаний давления в газе	75
1.4.5. Связь между скоростью импульса и скоростью звука	77
1.4.6. Связь между скоростью газа и скоростью звука	78

1.4.7. Влияние формы канала на скорость газа	81
1.4.8. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффекты	83
1.5. Смеси и смешивание газов	86
1.5.1. Газовые смеси	86
1.5.2. Смешивание газов	88
1.5.3. Влажный воздух и процессы с ним	91
1.5.4. Смешивание потоков пара или потоков влажного воздуха	95
1.6. Основы химической термодинамики	98
1.6.1. Химический потенциал	98
1.6.2. Тепловой эффект химических реакций	100
1.6.3. Условия равновесия сложных систем	103
1.6.4. Фазовое равновесие, фазовая диаграмма $p-T$	105
1.7. Циклы реальных машин и установок	108
1.7.1. Циклы идеальных компрессоров	108
1.7.2. Цикл реального компрессора	112
1.7.3. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания	114
1.7.4. Циклы газотурбинных установок	120
1.7.5. Циклы паросиловых установок	125
1.7.6. Повышение эффективности теплосиловых циклов	128
1.7.7. Цикл воздушной холодильной машины	132
1.7.8. Цикл пароконденсаторной холодильной машины	134
1.7.9. Абсорбционная холодильная установка	136
1.7.10. Термотрансформаторы	139
2. ТЕОРИЯ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА	150
2.1. Основные понятия и законы теории теплообмена	150
2.1.1. Классификация процессов теплообмена	150
2.1.2. Основные термины теории теплообмена	152
2.1.3. Основные законы теплообмена	153
2.2. Теплопроводность	156
2.2.1. Способность тел проводить теплоту	156
2.2.2. Дифференциальное уравнение теплопроводности	157
2.2.3. Условия однозначности в задачах теплопроводности	160
2.2.4. Стационарная теплопроводность плоской стенки при ГУ-1	162
2.2.5. Стационарная теплопроводность плоской стенки при ГУ-3	164
2.2.6. Стационарная теплопроводность плоских стенок при смешанных граничных условиях	166
2.2.7. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки при ГУ-1	168
2.2.8. Теплопередача через цилиндрическую стенку	171
2.2.9. Критический диаметр изоляции. Оптимальная изоляция	173
2.2.10. Теплопередача через ребристую стенку	175
2.2.11. Теплопроводность цилиндра при наличии внутренних источников теплоты	176
2.2.12. Численное решение задач стационарной теплопроводности	178
2.2.13. Процессы нестационарной теплопроводности	181
2.2.14. Общее решение дифференциального уравнения теплопроводности	184
2.2.15. Нестационарная теплопроводность неограниченной плоской стенки	186
2.2.16. Метод источников теплоты	190
2.2.17. Численное решение нестационарных задач теплопроводности	194

2.3. Конвективный теплообмен	199
2.3.1. Основные факторы, определяющие интенсивность конвекции . . .	199
2.3.2. Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничных слоях . .	201
2.3.3. Дифференциальное уравнение теплоотдачи и другие дифференци- альные уравнения теплового пограничного слоя	204
2.3.4. Основы теории подобия	207
2.3.5. Теплоотдача при свободной конвекции	212
2.3.6. Теплоотдача при движении теплоносителя в трубах и каналах . . .	215
2.3.7. Теплоотдача при поперечном обтекании труб и в трубных пучках.	218
2.3.8. Теплоотдача при конденсации.	221
2.3.9. Отдельные случаи конденсации.	227
2.3.10. Теплоотдача при кипении	230
2.3.11. Отдельные случаи кипения	234
2.3.12. Изменение температурного напора вдоль поверхности теплообмена	239
2.3.13. Среднеарифметический температурный напор	241
2.3.14. Тепловой расчет рекуперативных теплообменников	243
2.3.15. Пути и способы интенсификации процессов теплопередачи	246
2.4. Тепловое излучение	250
2.4.1. Общие понятия и определения	250
2.4.2. Основные законы теплового излучения	252
2.4.3. Лучистый теплообмен между параллельными стенками	255
2.4.4. Экраны	257
2.4.5. Лучистый теплообмен между телами произвольной формы.	260
2.4.6. Угловые коэффициенты	262
2.4.7. Теплообмен в диатермических оболочках	264
2.4.8. Излучение и поглощение газов	269
2.4.9. Сложный теплообмен.	271
2.5. Массообменные процессы	272
2.5.1. Основные понятия и законы.	272
2.5.2. Диффузионный пограничный слой	275
2.5.3. Массопроводность, массоотдача, массопередача	277
2.5.4. Критериальные уравнения массоотдачи	279
2.5.5. Элементы теории сушки.	281
2.5.6. Кинетика процесса сушки	285
2.5.7. Смесительные теплообменники	288
3. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ	297
3.1. Топливо, его основные характеристики	297
3.2. Элементы теории горения	302
3.3. Технические расчеты горения.	307
3.4. Топочные устройства	311
3.5. Особенности теплообмена в топках.	316
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	323
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	324